©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen.

Von **V. Dvořák**,
Hörer der Physik an der Prager Universität.

(Mit 2 Holzschnitten.)

Das von Plateau und Oppel untersuchte und bereits früher von Purkyně [1]) ohne besonderen Apparat beobachtete Bewegungsnachbild ist schon deßhalb eine interessante Erscheinung, weil es das erste Beispiel des Nachbildes einer Reizveränderung ist. Plateau und Oppel haben bereits angenommen, daß die Bewegungsnachbilder durch Vorgänge in der Retina bedingt sind. Die Erklärung derselben durch Augenbewegungen, welche der hochgeschätzte Forscher Helmholtz [2]) neuerdings versucht hat, läßt sich in der That schon durch die Details der älteren Versuche ad absurdum führen.

Wenn eine scheinbar sich erweiternde gedrehte Plateau'sche Spirale ein scheinbares Schrumpfen der nachher betrachteten Gegenstände gegen ein bestimmtes Centrum hin bewirkt, wenn das Oppel'sche Bewegungsnachbild in der Mitte rascher strömt als am Rande [3]), so sind dies bereits Beweise genug gegen die letzterwähnte Erklärung; denn Augenbewegungen können nur eine gleichmäßige Verschiebung des ganzen Gesichtsfeldes bewirken.

Auch die Behauptung von Helmholtz, daß die Erscheinungen bei strenger Fixation eines Punktes nicht eintreten, erweist sich bei näherer Prüfung als unhaltbar. Man kann den Plateau'schen Versuch in eine sehr eclatante Form bringen.

Man lege auf eine große weiße Scheibe mit einer Spirale eine kleinere concentrische mit einer entgegengesetzt laufenden Spirale,

---

[1]) Beiträge zur Kenntniß des Sehens. II.

[2]) Physiol. Opt. 603, 604, 619.

[3]) Pogg. Ann. B. XCIX, p. 541.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

auf diese etwa noch eine dritte, noch kleinere, mit einer der ersten gleichlaufenden Spirale und auf das gemeinschaftliche Centrum aller Scheiben einen kleinen schwarzen Kreis. Vor der so zusammengesetzten Scheibe mögen noch einige schwarze Fäden gespannt sein. Während nun die Scheibe gedreht wird, kann man das Centrum ganz scharf fixiren, indem sich jede Blickschwankung sofort durch die hellen Nachbildränder des schwarzen Centrums und der Fäden verräth. Sieht man dann nach einem weißen linirten Schirme, so erscheint auf demselben das dunkle Nachbild der Scheibe in drei theils schrumpfende, theils schwellende Ringe getheilt, und in diesem Nachbilde ganz fest und ruhig die hellen Nachbilder des Centrums und der Fäden. Hiebei ist zu bemerken, daß die scheinbare Bewegung im Nachbilde immer nur schwächere Pünktchen und Fleckchen ergreift, nie aber deutlich gesehene Punkte und Linien.

Die Bewegungsnachbilder sind also ebenso locale Erscheinungen als die Licht- und Farbennachbilder und treten wie diese bei ruhiger Fixation auf.

Es lassen die Bewegungsnachbilder auf einen eigenthümlichen Connex benachbarter Netzhautstellen schließen. Für eine isolirte Netzhautstelle ist der Wechsel von Hell und Dunkel natürlich derselbe, ob die betrachtete Spirale schrumpft oder schwillt. Das Nachbild der letzteren lehrt aber, daß es für die Netzhautstelle nicht gleichgiltig ist, auf welche Nachbarstelle der Reiz übergeht. Welche Bedeutung dieses für die Theorie des stereoskopischen Sehens hat, kann hier nicht erörtert werden.

Es möge gestattet sein, hier noch einige nebenbei gemachte Beobachtungen anzuführen.

Wenn man etwa mit dem rechten Auge die gedrehte Spirale betrachtet, während das linke geschlossen ist und dann umgekehrt bei geschlossenem rechten mit dem linken Auge einen anderen Gegenstand beobachtet, so erscheint auch diesem Auge das Bewegungsnachbild.

Die Wechselbeziehung beider Netzhäute äußert sich also auch bei dieser Art von Nachbildern. Es geht hieraus hervor, daß sich auch Bewegungsnachbilder müssen binocular combiniren lassen, worauf jedoch hier nicht eingegangen werden soll.

Außerdem läßt sich ein merkwürdiges Zitternachbild beobachten; versetzte man nämlich eine große Spiralscheibe ($R = 3^1/_2'$) mit sehr

weiten, dafür aber vervierfachten, dick ausgezogenen Windungen, die wegen ihrer Unebenheiten bei der Drehung lebhaft schwankte und zitterte, in so rasche Rotation, daß die Windungen fast undeutlich wurden, wobei sie sich wellig krümmten, so zeigte sich am später fixirten Schirme ein starkes Zittern und Flimmern, in welchem man bei näherer Betrachtung einen Stern aus radialen gekrümmten Linien erblickte.

Malt man auf derselben Scheibe zwei entgegen laufende, sonst aber gleiche Spiralen, jede mit einer anderen Farbe, so erkennt man beide wegen der vielfachen Durchkreuzung kaum als Spiralen, was jedoch sehr leicht bei der Rotation geschieht; die eine Spirale scheint dann zu schrumpfen, wenn die zweite zu wachsen scheint. Hält man aber nach längerer Fixirung die Spiralen an, so zeigt sich keine Spur von Scheinbewegung. Auch ist es nicht möglich durch Fixirung der Aufmerksamkeit auf die eine Spirale eine Scheinbewegung hervorzurufen, außer wenn die zweite viel schwächer gemalt ist.

Es lag nahe, sich die Frage vorzulegen, ob nicht andere Reizveränderungen ebenfalls Nachbilder erzeugen.

Die zahlreichen angestellten Versuche ergaben in einem Falle, bei Lichtintensitätsänderungen eine Bestätigung der Vermuthung, in allen übrigen Fällen aber ein negatives Resultat.

Läßt man die Lichtintensität in einem Zimmer von einem gewissen Werthe i ziemlich schnell auf einen anderen $i + \Delta i$ wachsen, dann plötzlich auf i fallen und wieder allmälig auf $i + \Delta i$ steigen, und läßt dann nach oftmaliger Wiederholung des Processes die Lichtintensität plötzlich constant, so scheint dieselbe deutlich fort und fort kleiner zu werden. Die Umkehrung des Versuches ist selbstverständlich.

Das Experiment läßt sich einfach so ausführen: Das Fensterladenloch eines verdunkelten Zimmers wird mit einem hutförmigen, in das Zimmer ragenden Aufsatz verschlossen, welcher am Deckel eine mit mattem Glase belegte Spalte trägt. Die Spalte steht radial zu einer vor derselben drehbaren undurchsichtigen Scheibe, deren Umfang durch einen Spiralgang gebildet wird. Nun setzt man noch eine matte Glastafel vor, die je nach der Stellung der Spirale stärker oder schwächer diffus beleuchtet wird und die man beobachtet.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

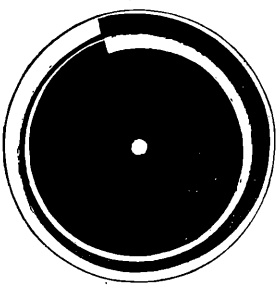
Es ist klar, daß je nach dem Drehungssinn der Scheibe die Spalte immer allmälig geöffnet und plötzlich geschlossen oder allmälig geschlossen und plötzlich geöffnet wird. Im ersten Falle scheint sich die Glastafel, wenn man mit der Drehung aufhört, fort und fort zu verdunkeln, im zweiten fort und fort zu erhellen.

(Die Zahl der Umdrehungen war 2 bis 3 in der Secunde, die Versuchszeit im Durchschnitte 1 Minute; die Spalte war $1\frac{1}{2}''$ lang, $2'''$ breit; der Durchmesser der Scheibe war $2'$, die Weite der Spirale $1\frac{1}{2}''$.)

Beobachtet man während des Versuches das Zerstreuungsbild eines nahe an das Auge gebrachten glänzenden Stecknadelkopfes, so sieht man dasselbe entsprechend den Veränderungen der Pupillenweite bei jeder plötzlichen Erhellung schwach zusammenzucken, bei jeder plötzlichen Verdunklung sich schwach vergrößern. Nach Beendigung der Drehung kann man nichts mehr am Zerstreuungsbilde bemerken.

Um den Einfluß der Pupillenweite bei der Erscheinung möglichst zu eliminiren und zu untersuchen, ob gleichzeitige Erhellung und Verdunklung in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes als Nacherscheinung eintreten könne, wurde der Versuch folgendermaßen angestellt:

Fig. 1.

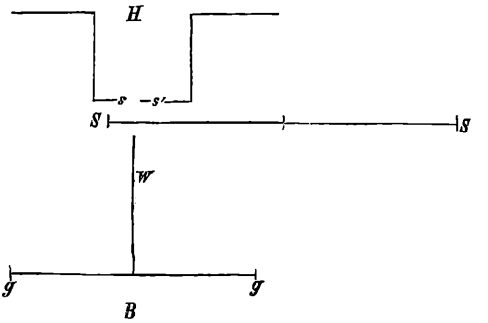


Der Hutdeckel erhält zwei Spalten, welche in demselben Radius einer großen vor denselben drehbaren Glasscheibe (Fig. 1) liegen. Die Scheibe ist schwarz bemalt und nur zwei ringförmige Räume an derselben sind durchsichtig gelassen. Diese sind nach außen durch einen Kreis, nach innen durch einen Spiralgang begrenzt. Die Spiralen laufen bei beiden Ringen entgegengesetzt. Wird nun bei der Drehung die eine Spalte allmälig geschlossen, so wird die zweite ebenso allmälig geöffnet.

Die Fig. 2 gibt die Anordnung des Versuches. Der Hut ist durch *H*, die Spalten mit matten Gläsern durch *s*, *s'*, die Scheibe durch *SS* angedeutet. Das Licht der beiden Spalten wird durch die undurchsichtige Zwischenwand *W* gesondert und auf die beiden Hälften einer matten Tafel *GG* vertheilt, welche vom Beobachter *B*

betrachtet wird. Hier sieht man während der Drehung immer die eine Hälfte sich erhellen, die andere sich verdunkeln. Hält man die

Fig. 2.



Scheibe plötzlich an, so tritt sofort augenfällig das Umgekehrte ein; die Hälfte, welche sich zuvor erhellte, verdunkelt sich, die andere erhellt sich zusehends.

Also auch diese Erhellungs- und Verdunklungsnachbilder, wie man sie passend nennen könnte, sind locale Erscheinungen und können nicht von Pupillenänderungen allein herrühren.

Wenn man bei diesem Versuch wieder das Zerstreuungsbild zu Rathe zieht, so findet man, daß bei jedesmaliger plötzlicher Öffnung der Spalte die Pupille etwas zusammenzuckte.

Obgleich nun die Spiralen so gewählt sind, daß die Intensität des Gesammtlichtes, welches durch beide Spalten eindringt, constant bleibt, so scheint doch jede neue Lichtvertheilung als ein größerer Reiz auf die Iris zu wirken. Das Erhellungs- und Verdunklungsnachbild schien bei den Versuchen mit einer Spalte etwas stärker aufzutreten, als bei zwei Spalten. Es muß demnach dahin gestellt bleiben, ob und welchen Antheil Änderungen der Pupillenweite bei der Erscheinung haben.

Das durch die Spalte eindringende Licht bildet auf der matten Tafel einen großen verwaschenen Fleck, dessen Rand sich bei der Erweiterung der Spalte ebenfalls etwas erweitert. Es lag also der Verdacht nahe, daß bei den Erhellungs- und Verdunklungsnachbildern die Plateau'sche Erscheinung mitspiele. Um letztere auszuschließen, wurde die Glastafel mit einem Bogen Carton, der mit

zwei kleinen runden Ausschnitten versehen war, bedeckt, so daß man die Ränder der Lichtflecke nicht mehr sah. Nichts destoweniger traten die Erhellungs- und Verdunklungsnachbilder doch ein.

Denken wir uns in Fig. 2 die Wand W weg und s, s' mit zwei verschieden gefärbten matten Gläsern bedeckt, so bringt die Drehung der Scheibe eine continuirliche Farbenänderung hervor. Ein Nachbild einer Farbenänderung konnte aber nie beobachtet werden.

Nachbilder von Schallempfindungen sind nicht beobachtet, doch sind genauere Versuche darüber auch nicht angestellt worden. Es wurde deßhalb sorgfältig untersucht, ob Nachbilder von Tonintensitäts- oder Tonhöhenveränderungen auftreten.

Aus einer Resonanzröhre, welche auf eine Helmholtz'sche Unterbrechungsgabel ansprach, gingen Röhrchen in die Ohren des Beobachters. Die Röhre war in einem Schwingungsbauch durchschnitten und daselbst schlug eine Spiralscheibe durch. Die Intensitätsänderungen waren sehr mächtige, ohne daß nachher eine Intensitätsänderung an dem constanten Tone der Gabel zu bemerken gewesen wäre.

Eine offene Labialpfeife trägt in der einen Seitenwand nahe an ihrem Ende einen längeren Schlitz. Derselbe wird durch eine an die Pfeifenwand befestigte Spiralscheibe allmälig bis zum Ende der Pfeife geschlossen, dann plötzlich geöffnet u. s. f. — Man erhält so einen fallenden und bei Umkehrung des Versuches einen steigenden Ton, aber niemals ein Nachbild der Änderung.

Mehrere der hier beschriebenen im physikalischen Laboratorium der Prager Universität ausgeführten Versuche wurden auf Anregung des Herrn Prof. E. Mach angestellt.